

Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft

Jahrbuch 2017

Sonderdruck
Seiten 89–103



J. CRAMER Verlag • Braunschweig
2018

Big Data in der Verkehrsplanung*

BERNHARD FRIEDRICH

Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, TU-Braunschweig, Hermann-Blenk-Straße 42,
DE-38108 Braunschweig, E-Mail: friedrich@tu-braunschweig.de

1. Aufgaben und Maßnahmenebenen der Verkehrsplanung

Die Verkehrsplanung hat die dienende Funktion, die bestmögliche Mobilität von Personen und Gütern unter den Gesichtspunkten

- sozialer Teilhabe,
- ökologischer und städtebaulicher Verträglichkeit sowie
- ökonomischen Nutzens

sicherzustellen. Dabei wird die Mobilität als Aufwand für die Durchführung von Aktivitäten bzw. der Daseinsgrundfunktionen wie Wohnen, Versorgen, Arbeiten/ Bilden oder Erholen verstanden. Je geringer der Aufwand für die Durchführung dieser Aktivitäten ist, umso größer ist die Mobilität. Durch die Planung, die Bereitstellung und den Betrieb geeigneter Verkehrsinfrastruktur wird durch die Verkehrsplanung damit eine wichtige gesellschaftspolitische Aufgabe erfüllt. Dabei werden die folgenden Maßnahmenebenen betrachtet:

- Raumplanung und Siedlungsentwicklung
- Verkehrsnetzplanung
- Entwurf und Dimensionierung von Verkehrsanlagen
- Verkehrsmanagement zum optimalen Einsatz vorhandener Kapazität

In der verkehrsplanerischen Praxis stehen die Anforderungen der Teilhabe, der Verträglichkeit und der Nutzenmaximierung häufig in einem Zielkonflikt, der unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Werthaltungen gelöst werden muss. Da sich die Verkehrsplanung als quantitative Wissenschaft versteht, ist es für den Abgleich der Anforderungen erforderlich, politische Ziele in messbare Kriterien zu übersetzen und diesbezügliche Anspruchsniveaus festzulegen. Typisch sind z.B. Anforderungen an die Erreichbarkeit zentraler Einrichtungen, die als Reisezeiten quantitativ ermittelt werden können.

* Der Vortrag wurde am 13.10.2017 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

2. Daten in der Verkehrsplanung

Um den Anforderungen nach quantitativ belastbaren Aussagen zur Wirkung von verkehrsplanerischen Maßnahmen gerecht zu werden, werden Daten als Eingangsgrößen sowie als Kalibrierungs- und Validierungsgrößen für Verkehrsnachfrage- und Verkehrsflussmodelle benötigt. Die erforderlichen Daten betreffen dabei die folgenden Informationen:

- Verkehrsnachfrage
- Quell- und Zielverkehre
- Verkehrsbeziehungen
- Verkehrsmittelwahl
- Routenwahl
- Verkehrslage, d.h. raumzeitliche Informationen zu
- Verkehrsstärke,
- Verkehrsdichte und
- Geschwindigkeit

Diese raumzeitlichen Informationen sind in der Regel messtechnisch schwer und meist nur mit beträchtlichem Aufwand erfassbar. Eine der Herausforderungen in der Verkehrsplanung ist es deshalb, Technologien für die Messung geschickt zu nutzen und auf den Datenbedarf der Modelle abzustimmen. Standen als Datenquellen in der Vergangenheit insbesondere ortsfeste Messeinrichtungen zur Verfügung, ist mit der Verbreitung mobiler Kommunikationstechnologien und dadurch verfügbarer Bewegungsdaten inzwischen eine weitere sehr reiche Datenquelle vorhanden, die Stichproben zum raum-zeitlichen Verlauf der Verkehrsnachfrage ermöglicht.

Die genannten Bewegungsdaten erlauben eine gegenüber dem bisherigen Stand deutlich verbesserte Abbildung der Verkehrsnachfrage und der Verkehrslage. Dabei

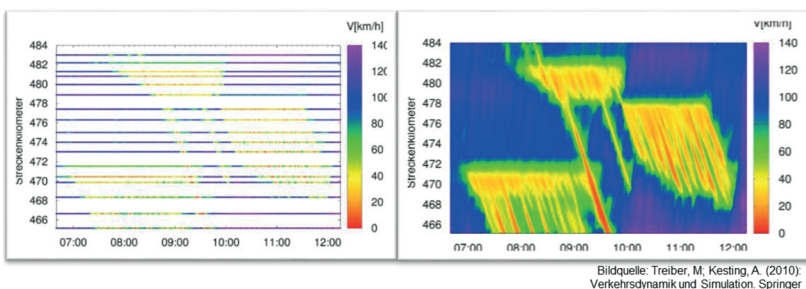


Abb. 1: Beispiel für die Rekonstruktion der Verkehrslage auf einem Autobahnabschnitt aus den Daten ortsfester Messeinrichtungen.

werden sie häufig unter Nutzung eines Verkehrsmodells mit weiteren Daten aus ortsfesten Messeinrichtungen fusioniert, um kontinuierliche und flächendeckende Daten für die Verkehrsplanung zu ermitteln.

3. Rekonstruktion von Trajektorien aus Bewegungsdaten

Die hier angesprochenen Bewegungsdaten werden häufig auch als Probe Data bezeichnet und bestehen im Wesentlichen aus einer Identifikation des Gerätes, von dem sie gesandt werden, sowie einem Koordinatenpunkt und dem zugehörigen Zeitstempel. Meist werden die Datenpunkte in einer von der Anwendung abhängigen konstanten Frequenz (Reporting-Frequenz) gesammelt und in einem wiederum von der Anwendung abhängigen Meldeintervall über Mobilfunk an eine Zentrale versandt.

Die in der Zentrale vorliegenden Rohdaten können nun für aktuelle Meldungen oder für die Rekonstruktion vergangener Zustände aufbereitet werden. Dazu sind eine Zuordnung der einzelnen Datenpunkte zum Straßennetz (Map Matching) und ihre Verbindung zu einem Wegverlauf bzw. einer Trajektorie erforderlich. Da die Satellitenortung nicht präzise ist, ist gerade bei einer größeren Reporting-

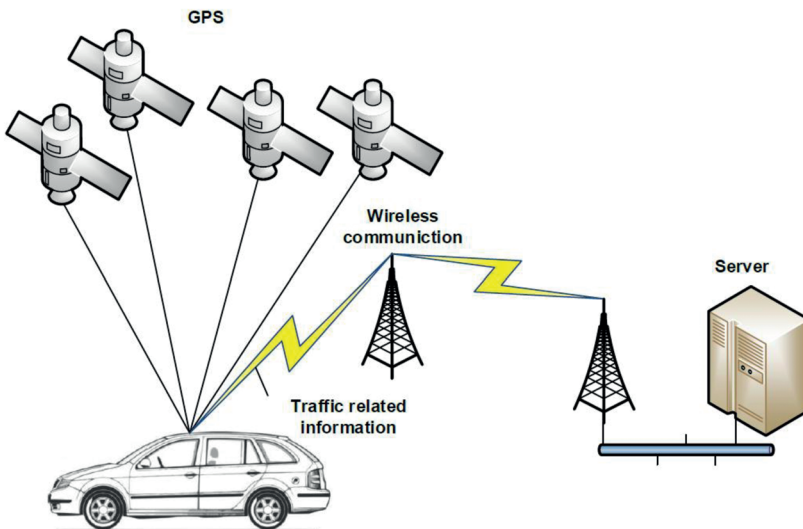


Abb. 2: Technisches Konzept für die Gewinnung von ortsbezogenen Bewegungsdaten nach Schäfer et al. (2003) (aus Axer, 2017).

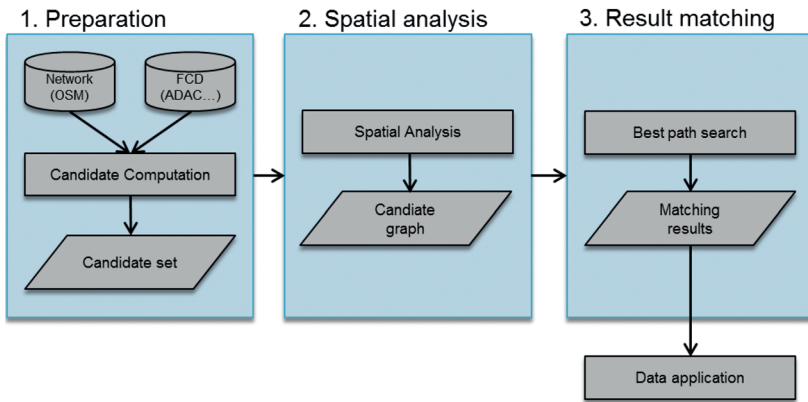


Abb 3: Vorgehen beim Map Matching nach Lou, Y., et al. (2009).

Frequenz eine logische Zuordnung zu den wahrscheinlichen Routen im Netz erforderlichlich.

Die aus dem Map Matching gewonnenen Trajektorien stellen die erforderlichen Grunddaten für die Ableitung weiterer verkehrsplanerischer Informationen dar. Mit ihnen lässt sich eine Vielzahl von Aussagen für das Qualitätsmanagement wie z.B. regelmäßigen Engpässen im Straßennetz und die Verkehrsplanung wie z.B. Reisezeiten und Erreichbarkeiten gewinnen.

Da die Stichprobe der ermittelten Trajektorien an der Gesamtzahl aller Fahrten gerade im nachgeordneten Straßennetz häufig klein ist, werden die Daten in einer Ganzjahres- oder Mehrmonatsanalyse zeitlich gefaltet. Als Faltungszeitraum eignet sich dabei der Zeitraum einer Woche, da für die einzelnen Wochentage wiederkehrende Zustände zu erwarten sind. Gerade für verkehrsplanerische Fragestellungen sind diese Ganzjahresanalysen von besonderem Wert, da mit ihnen eine kontinuierliche Beobachtung wiederkehrender Zustände wie regelmäßige Stauungen möglich wird.

Aus den wochenweise übereinander gelegten Trajektorien lassen sich in Zeit-Weg-Diagrammen sehr schnell typische wiederkehrende Ereignisse visuell verdeutlichen. Abbildung 5 illustriert ein solches Beispiel, in dem sich die Tageszeiten und die Streckenabschnitte mit freiem Verkehrsfluss deutlich von den Zuständen mit Stauungen anhand der Dichte und Neigung der Trajektorien unterscheiden lassen.

Trotz der manchmal geringen Stichprobengröße am Gesamtverkehrsaufkommen sind die für Ganzjahresanalysen zu verarbeitenden Datenmengen sehr groß und stellen hohe Anforderungen an eine effiziente Datenverarbeitung. Für den Großraum München war z.B. für einen Jahreszeitraum in den Jahren 2014/2015 ein

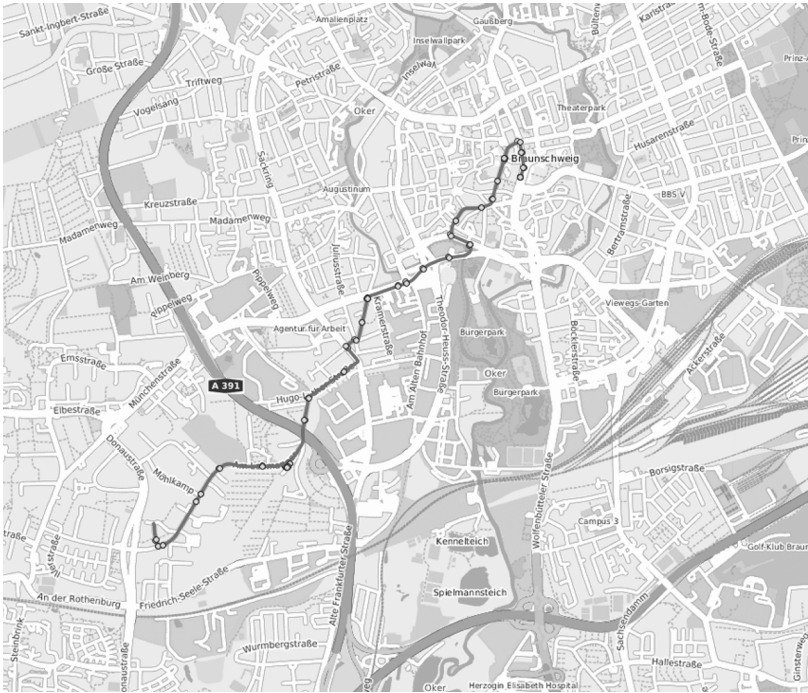


Abb 4: Trajektorie eines Fahrzeugs mit den erfassten Datenpunkten im Braunschweiger Straßennetz (eigene Darstellung-Kartengrundlage OSM).

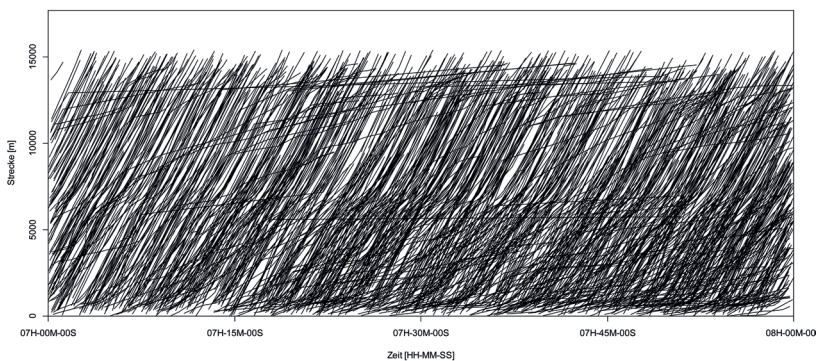


Abb 5: Trajektorien im Zeit-Weg-Diagramm einer Mehrmonatsanalyse (eigene Darstellung).

Datenvolumen von 1,181 E9 Datenpunkten zu bewältigen, die in dem Prozess des Map Matchings und der Trajektorienbildung zu verarbeiten waren. Da die Verfügbarkeit von Bewegungsdaten laufend zunimmt und bei bestimmten Datenprovidern auch deutlich höhere Datenvolumina als im angegebenen Beispiel vorliegen, sind die Anforderungen an eine effiziente Datenverarbeitung entsprechend hoch.

4. Nutzung von Bewegungsdaten in der Verkehrsplanung - Beispiele

In den nachfolgenden Beispielen werden einige Anwendungsmöglichkeiten von Ganzjahresanalysen für verschiedene Bereiche der Verkehrsplanung und des Verkehrsmanagements besprochen, um einen Überblick zum Spektrum und zum Potenzial der Nutzung dieser Datenquelle zu geben.

Geschwindigkeitsanalysen

Ganzjahresanalysen erlauben eine einfache Auswertung von im Mittel gefahrenen Geschwindigkeiten im Straßennetz zu bestimmten Tageszeiten. In Verbindung mit geeigneten Geschwindigkeitsklassen können Geschwindigkeitskarten angefertigt werden, die einen visuellen Aufschluss über Engpässe im Netz erlauben. Abbildung 6 zeigt ein solches Beispiel für das Straßennetz im Stadtgebiet von Braunschweig. Mit weitergehenden auf den mittleren Geschwindigkeiten aufbauenden Kennwerten lässt sich auf diese Weise ein netzweites und kontinuierliches Qualitätsmanagement aufbauen. Werden die Auswertungen fortlaufend erhoben und statistisch ausgewertet, lassen sich auf diese Weise Veränderungen in der Verkehrsqualität im zeitlichen Längsschnitt verfolgen und Handlungserfordernisse für die Infrastrukturplanung zielgerichtet ableiten.

Wirksamkeit von Infrastrukturinvestitionen im Vorher/Nachher-Vergleich

Wichtiger Bestandteil im Planungsprozess ist die Überprüfung der Wirksamkeit von Maßnahmen nach deren Umsetzung. In der Regel werden solche Überprüfungen aber aufgrund des bislang hohen messtechnischen Aufwands kaum durchgeführt, zumal ggf. zusätzlich erforderliche Messungen für in der Vergangenheit liegende Zeiträume nicht möglich sind. Hierfür bieten Bewegungsdaten, die in der Vergangenheit aufgezeichnet wurden, eine gute Möglichkeit, Wirksamkeitsanalysen von Infrastrukturvorhaben ex post in einem Vorher/Nachher-Vergleich zu überprüfen.

Ein Beispiel hierzu stellt der Ausbau der Anschlussstelle „Am Sandkamp“ an der BAB A39 bei Wolfsburg dar. Die Anschlussstelle, die aufgrund der hohen Verkehrsnachfrage im Zu- und Ablauf vom Werksstandort von Volkswagen regelmäßig überlastet war, wurde im Jahr 2012 wie in Abbildung 7 dargestellt

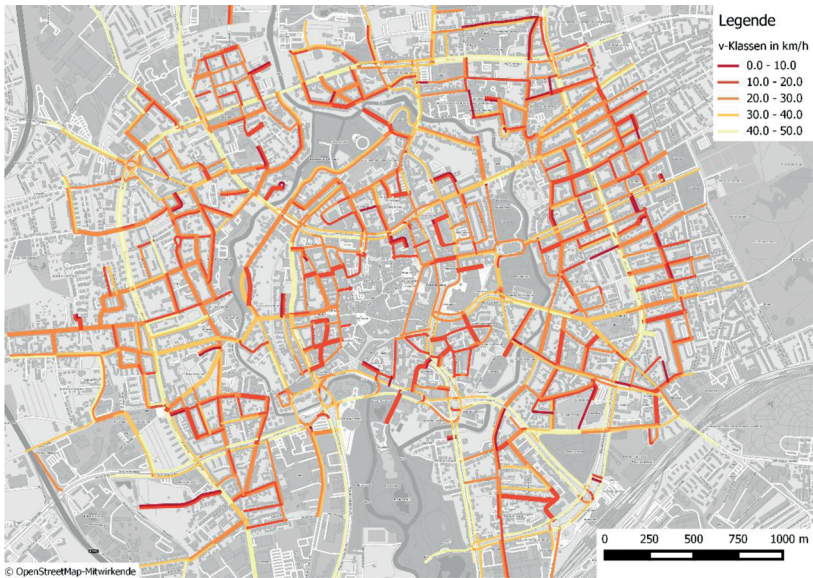


Abb 6: Karte der mittleren Geschwindigkeiten im Straßenverkehr der Stadt Braunschweig im Jahr 2014 für den Zeitraum 19:00-24:00 Uhr.



Abb 7: Anschlussstelle „Am Sandkamp“ an der Bundesautobahn A39 vor und nach dem Ausbau im Jahr 2012; Bildquelle Google Earth.

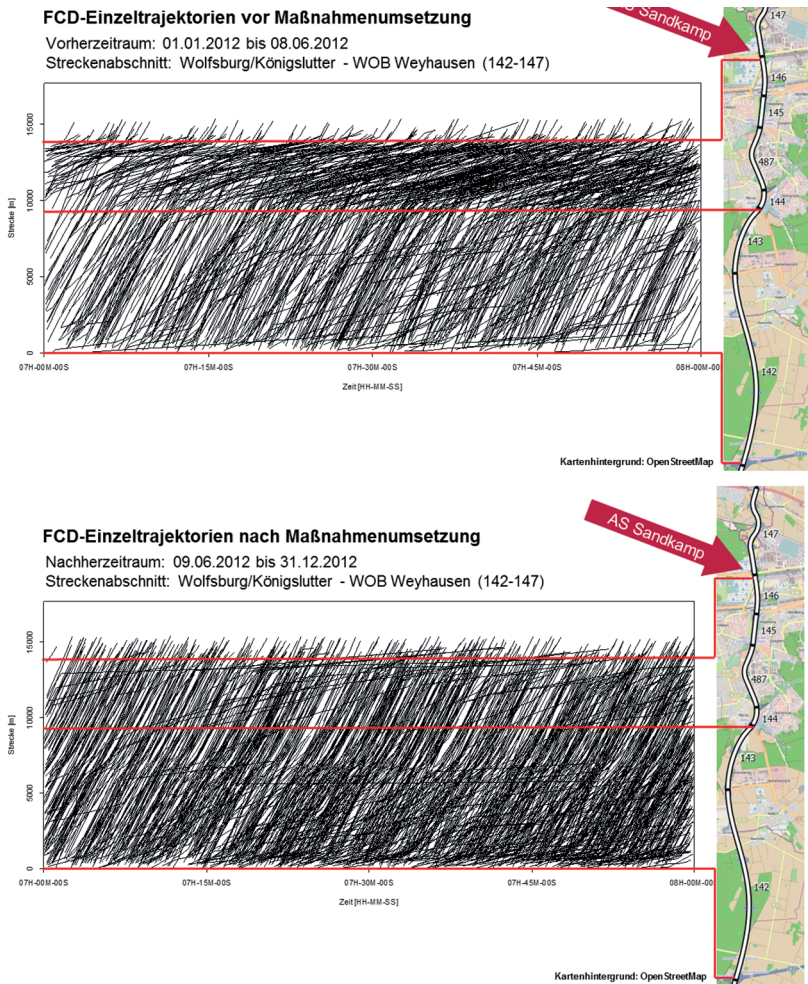


Abb 8: Wirksamkeitsanalyse für den Ausbau der Anschlussstelle „Am Sandkamp“ im Vorher/Nachher-Vergleich.

ausgebaut. Im Jahr 2014 erfolgte eine nachgelagerte Wirksamkeitsanalyse, für die der Trajektorienverlauf auf der A 39 in Abbildung 8 gezeigt ist. Mit Hilfe weitergehender Untersuchungen lassen sich auf dieser Grundlage die volkswirtschaftlichen Nutzen bestimmenden Investitionskosten für Infrastrukturmaßnahmen gegenüberstellen.

Erreichbarkeitsstudien, Standortanalysen

Für eine integrierte Raum- und Verkehrsplanung ist die Kenntnis der Erreichbarkeiten von Standorten und Gebieten von besonderer Bedeutung. Im Sinne der Daseinsfürsorge besteht der Anspruch, dass zentrale Einrichtungen in angemessener Reisezeit mit dem Pkw oder dem Öffentlichen Verkehr erreichbar sein sollen. Erreichbarkeitsanalysen für Räume werden häufig mit Hilfe von Modellrechnungen durchgeführt, in denen neben den Straßenkategorien der Streckenabschnitte ggf. abgeschätzte Auslastungszustände eingehen. Tatsächlich auftretende Reisezeiten im Jahresverlauf können auf diese Weise jedoch nicht ermittelt werden. Hierfür können wiederum empirisch erfasste Trajektorien von tatsächlichen Fahrten genutzt werden.

In gleicher Weise können auch Analysen für Standortqualitäten bestimmter Geschäfts- und Wohnstandorte angefertigt werden. Das folgende Beispiel zeigt die Vorgehensweise und die Ergebnisse einer Untersuchung für einen zentralen Bürostandort in München. Die Aufgabenstellung war, für einen Untersuchungsraum von 180 auf 180 km die Reisezeiten zum betrachteten Standort von allen Bereichen im Untersuchungsraum zu ermitteln. Dazu wurde der Untersuchungsraum in quadratische Zellen mit einer Kantenlänge von 1 km unterteilt. Von jeder Zelle wurde eine belastungsabhängig günstige Route zum Standort berechnet.

Die tatsächlich im Jahresverlauf aufgetretenen mittleren Reisezeiten auf diesen Routen wurden dann durch die Summe der empirisch ermittelten Reisezeiten auf den einzelnen Kanten der jeweiligen Routen ermittelt. In einer räumlichen Darstellung der Isochronen der Reisezeit lässt sich die Erreichbarkeit des Standorts aus der gesamten Region im Tagesverlauf beurteilen.

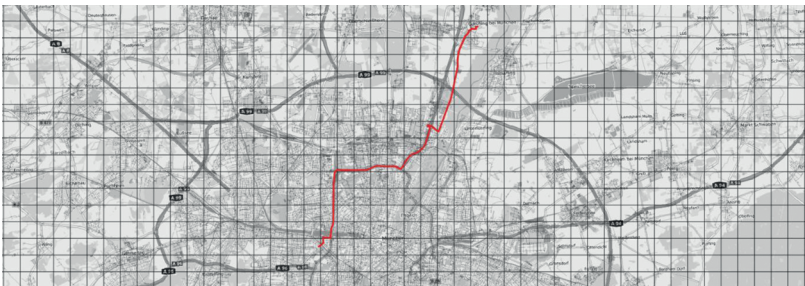


Abb 9:

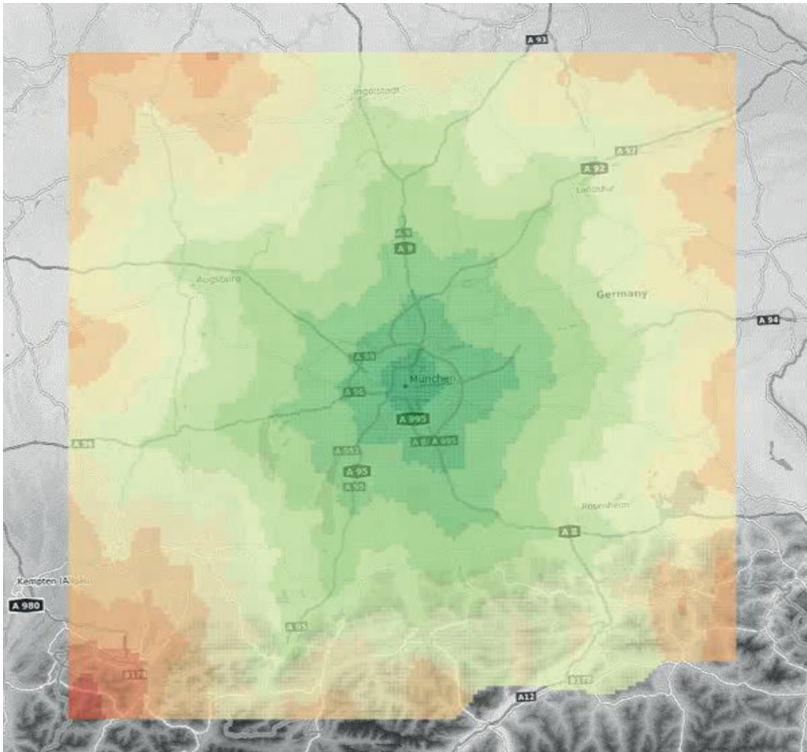


Abb 10: Isochronen der Reisezeit zu einem Bürostandort in zentraler Lage in München um 8:00 Uhr; Analysezeitraum 2015.

Schätzung von Quelle-Ziel-Beziehungen

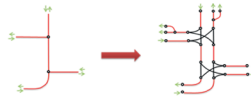
Die Größe der Verkehrsnachfrage zwischen den möglichen Quellen und Zielen im Raum, die sogenannten Quelle-Ziel-Beziehungen sowie die Routenwahl sind messtechnisch kaum erfassbar. Für die Verkehrsplanung und das Verkehrsmanagement ist diese Information jedoch eine unabdingbare Voraussetzung, die heute im Wesentlichen über Strukturmodelle ermittelt wird. Die Versorgung und Kalibrierung der Modelle ist aufwendig und die Validierung häufig zweifelhaft, weil geeignete Validierungsgrößen fehlen.

Empirisch ermittelte Bewegungsdaten können Verkehrsnachfragemodelle nicht ersetzen, da die Stichproben aus verschiedenen Gründen räumlich verzerrt und für größere Räume auch zu klein sein können. Bewegungsdaten bieten jedoch die Chance, die Modelle wesentlich besser als bisher auf realen Daten abzustützen und zu kalibrieren bzw. zu validieren. Dazu ist es erforderlich, Daten aus stationären

1. Grundlage für die OD-Schätzung ist das Informationsminimierungsmodell (IM). Eingangsgrößen sind gemessene Verkehrsstärken an Querschnitten. Kanten ohne Zählwerte werden nicht berücksichtigt.
2. Abbiegebeziehungen werden durch eigene Kanten im Netzgraph repräsentiert. In der Praxis stehen für diese Kanten keine Zählwerte zur Verfügung.
3. Zur Verbesserung der Schätzung benötigt das IM-Modell Informationen über die Abbiegebeziehungen. Diese Informationen lassen sich mit einem Gravitationsmodell unter Nutzung von FCD gewinnen.

$$f_{ij} = f_{ij}^0 \prod_a X_a^{P_{ij}^a / g_{ij}^a}$$

$$g_{ij}^a = \sum_a P_{ij}^a$$



$$F_{ij} = X_i \cdot X_j \cdot f(w_{ij})$$

$$X_i = \frac{Q_i}{\sum_j X_j \cdot f(w_{ij})}$$

$$X_j = \frac{Z_j}{\sum_i X_i \cdot f(w_{ij})}$$



Abb 11: Methodischer Ablauf für die Schätzung von Quelle-/Zielbeziehungen aus der Fusion von stationären Detektoren und Bewegungsdaten.

und mobilen Quellen in einem Verkehrsnachfragemodell zu einer konsistenten und zeitlich differenzierten Verkehrsnachfrage zusammenzuführen.

Abbildung 11 zeigt den schematischen Ablauf einer Modellierung der Verkehrsnachfrage mit Hilfe des Informationsminimierungsmodells (van Zuylen 1979; Pohlmann et al. 2012) unter Hinzunahme von Floating Car Data. Im Ergebnis können die Stärke der Verkehrsbeziehung und der räumliche Verlauf der Verkehrsströme zwischen beliebigen Quell- und Zielgebieten für wählbare Zeiträume in der Vergangenheit und für den aktuellen Zeitpunkt bestimmt werden.

Schaltzeitprognosen für Lichtsignalanlagen

Die netzweite Bereitstellung von LSA-Schaltzeiten (SPaT) spielt eine Schlüsselrolle für Fahrerassistenz in städtischen Straßennetzen. Potenzielle Anwendungen in den Fahrzeugen sind in diesem Zusammenhang z.B. die Anzeige der erwarteten Schaltzeitpunkte als Count-down, die Anzeige der optimalen Fahrgeschwindigkeit als Grüne-Welle-Assistenz (Abb. 12: Schematische Darstellung für eine Grüne-Welle-Assistenz aus dem Verbundprojekt KOLINE (Saust et al. 2010).), die Navigation über Routen mit minimaler Zahl von Halten oder die Beeinflussung der Start-Stopp-Automatik.

Die Bereitstellung der Schaltzeitinformation über Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (V2I) oder über zentrale Verkehrsrechner und Mobilfunk ist möglich, erweist sich jedoch aufgrund der Zuständigkeiten für die Infrastruktur als wenig praktikabel.

Als Alternative zu Schaltzeitinformationen, die direkt von der Infrastruktur übertragen werden, können die Trajektorien aus FCD genutzt werden, um die Schaltzeiten

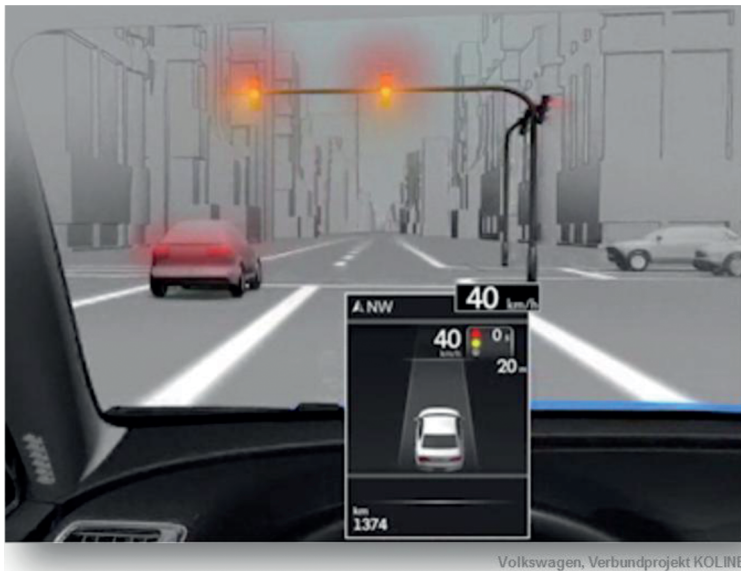


Abb. 12: Schematische Darstellung für eine Grüne-Welle-Assistenz aus dem Verbundprojekt KOLINE (Saust et al. 2010).

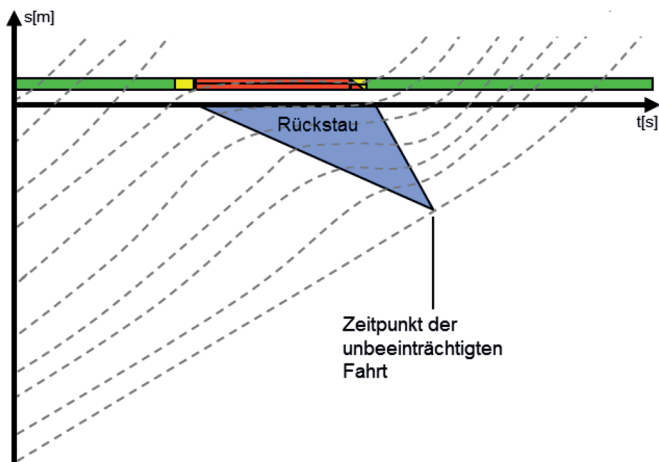


Abb 13: Schematische Darstellung des Trajektorienverlaufs von Fahrzeugen im Zulauf zu einer Lichtsignalanlage.

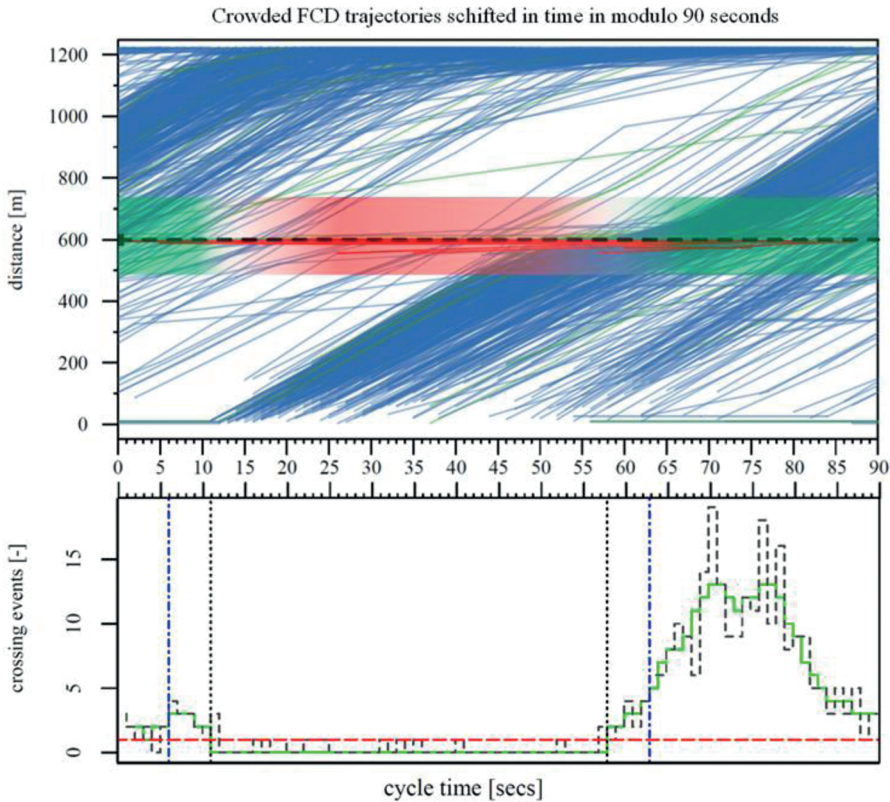


Abb. 14: Realer Trajektorienverlauf in der Zufahrt zu einer Lichtsignalanlage und die daraus abgeleiteten Schaltzeiten.

abzuschätzen. Das Prinzip ergibt sich anschaulich aus dem Zeit-Weg-Diagramm in Abb 13: Schematische Darstellung des Trajektorienverlaufs von Fahrzeugen im Zulauf zu einer Lichtsignalanlage.. Bei ausreichend vielen Trajektorien lassen sich auf diesem Weg die Schaltzeiten von sogenannten Festzeitprogrammen sehr genau bestimmen.

Bei verkehrsabhängigen Steuerungen hängt die Zuverlässigkeit der Schätzung von dem Grad der Flexibilität des Signalprogramms ab. Untersuchungen an realen Lichtsignalanlagen haben jedoch gezeigt, dass bei normalen verkehrsabhängig gesteuerten Knotenpunkten die Schätzungen nur geringe Abweichungen von den tatsächlichen Schaltzeiten hatten und zudem eine Aussage über die Verlässlichkeit der Information aus den Daten selbst ableitbar ist (Axe et al, 2016).

5. Resümee und Ausblick

Die Raum- und Verkehrsplanung baut auf der Kenntnis räumlich und zeitlich verteilter Kenngrößen auf. Diese Kenngrößen waren bislang messtechnisch meist nur schwer erfassbar. Mit der Entwicklung der Kommunikations- und Informationstechnologien stehen seit einigen Jahren jedoch zunehmend Bewegungsdaten von Verkehrsteilnehmern zur Verfügung, aus denen die erforderlichen Größen entweder direkt abgeleitet werden können oder in Verbindung mit weiteren Daten zu einer zeitlich und räumlich vollständigen Information fusioniert werden können.

Die Möglichkeiten der Analyse und des Qualitätsmanagements werden damit deutlich verbessert, Qualitäten und Mängel der Infrastruktur können genauer erkannt werden und es bietet sich damit die Chance, dass Mittel für Infrastrukturinvestitionen zielgerichteter eingesetzt werden können.

Für die Planung neuer Infrastruktur werden die Wirkungsanalysen auch in Zukunft auf Modellrechnungen beruhen. Diese können durch zusätzliche Informationen als Stützstellen der Modellierung verbessert werden. Darüber hinaus bieten sich neue Möglichkeiten der automatisierten Kalibrierung und der Validierung der Modelle mit repräsentativen Daten an, wodurch eine höhere Aussageschärfe zu erwarten ist.

Wurden bislang noch im Wesentlichen Bewegungsdaten des motorisierten Individualverkehrs gesammelt und für Analysen genutzt, so rücken inzwischen vermehrt auch die Bewegungsdaten anderer Verkehrsarten in das Interesse der Raum- und Verkehrsplanung. Auslöser für diese Entwicklung ist die zunehmende Verfügbarkeit von Bewegungsdaten, die durch die Nutzung von Smartphone-Applikationen erfasst werden. Für diese Daten eröffnen sich unter der Berücksichtigung des Datenschutzes vielzählige Anwendungen, die von der Gestaltung multimodaler Verkehrsangebote bis zur Bewertung von Geschäftslagen reichen. Für die Forschung ergibt sich damit ein großes Spektrum von grundlagen- wie anwendungsorientierten Aufgaben.

6. Referenzen

AXER, S. & B. FRIEDRICH (2016): Estimating signal phase and timing for traffic actuated intersections based on low frequency Floating Car Data. – Proc. of 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). (doi:10.1109/ITSC.2016.7795889)

AXER, S. (2017): Estimating Traffic Signal States by Exploiting Sparse Low-Frequency Floating Car Data. – Dissertation, TU-Braunschweig.

LOU, Y., C. ZHANG, Y. ZHENG, X. XIE, W. WANG, & Y. HUANG (2009): Map-matching for low-sampling-rate GPS trajectories. – In Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL

International Conference on Advances in Geographic Information Systems, GIS '09, pages 352–361, New York, NY, USA, 2009. ACM.

POHLMANN, T. & B. FRIEDRICH (2012): A Combined Method to Forecast and Estimate Traffic Demand in Urban Networks. – *Transportation Research Part C*, 31 (2013). (doi:10.1016/j.trc.2012.04.009)

SAUST, F., O. BLEY, R. KUTZNER, J.M. WILLE, B. FRIEDRICH, & M. MAURER (2010): Exploitability of vehicle related sensor data in cooperative systems. – *Proceedings of the 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems – ITSC 2010*, September 19–22, 2010 at Madeira Island, Portugal.

SCHÄFER, R.-P., A. GÜHNEMANN & K.U. THIESSENHUSEN (2003): Neue Ansätze im Verkehrsmonitoring durch Floating Car Daten. – In *19. Verkehrswissenschaftliche Tage (CD-ROM)*

VAN ZUYLEN, H.J. (1979): The Information Minimising Method: its Validity and Applicability to Transportation Planning. – In: *New Developments in Modelling Travel Demand in Urban Systems*, Saxon House. Westmead, Farnborough, Hants, UK, pp. 344–371.